

ЭКСТРАКЦИЯ ИОНОВ Pd(II), Ni(II), Co(II), Cu(II), Fe(III) И Zn(II) 1,2,3-БЕНЗОТРИАЗОЛОМ В СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ АНИОННЫХ ПАВ**С.А. Заболотных, А.Е. Леснов, С.А. Денисова, К.О. Гилева**

Светлана Александровна Заболотных *, Ксения Олеговна Гилева

Лаборатория органических комплексообразующих реагентов Института технической химии УрО РАН, ул. Академика Королева, 3, Пермь, Российская Федерация, 614013

E-mail: zabolotsveta@mail.ru *, ksenimanilova@mail.ru

Андрей Евгеньевич Леснов

Лаборатория органических комплексообразующих реагентов Института технической химии УрО РАН, ул. Академика Королева, д. 3, Пермь, Российская Федерация, 614013

Кафедра экологии, Пермский государственный аграрно-технологический университет им. ак. Д.Н. Прянишникова, ул. Петропавловская, д. 23, Пермь, Российская Федерация 614990

E-mail: lesnov_ae@mail.ru

Светлана Александровна Денисова

Кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, Пермь, Российская Федерация, 614990

E-mail: sw.denisova@yandex.ru

Исследовано влияние органического комплексообразующего реагента – 1,2,3-бензотриазола на фазовое состояние и экстракционные возможности водных систем на основе анионных ПАВ сульфонола, додецилсульфата натрия, или алкилбензолсульфокислоты и хлороводородной или серной кислоты. Введение в систему 1,2,3-бензотриазола приводит к ее расслаиванию на две жидкие фазы. Установлены оптимальные концентрационные параметры процесса экстракции в исследованных системах. Содержание сульфонола или додецилсульфата натрия – 0,6 г, алкилбензолсульфокислоты – 0,5 г, 1,2,3-бензотриазола – 0,35 г в общем объеме системы 10 мл. Расслаивание сохраняется в интервале концентраций хлороводородной кислоты (серной кислоты), моль/л: для системы с додецилсульфатом натрия – 0,5–6 (0,5–4), с сульфонолом – 0,1–4 (0,05–3), с алкилбензолсульфокислотой – 0–4 (0–3). При оптимальных соотношениях компонентов изучено распределение в них 0,01 моль/л ионов палладия (II), никеля (II), меди (II), кобальта (II), цинка (II) и железа (III). В системах с додецилсульфатом натрия количественного извлечения ионов металлов не наблюдалось. В системах с сульфонолом и алкилбензолсульфокислотой на всем изученном интервале концентраций кислот возможно практически полное (99,9%) извлечение палладия, а при минимальном содержании кислот более чем на 95% извлекаются медь(II) и никель. При концентрации хлороводородной кислоты 1,5 моль/л исследована экстракция ионов палладия в присутствии мешающих ионов. Установлено, что количественному извлечению ионов палладия не мешают 500-кратный избыток меди, 70-кратный избыток никеля, 300-кратный избыток кобальта. Экстракция сопутствующих ионов при этом незначительная.

Ключевые слова: экстракция, водные расслаивающиеся системы, бензотриазол, сульфонол, додецилсульфат натрия, алкилбензолсульфокислота, палладий

Для цитирования:Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А., Гилева К.О. Экстракция ионов Pd(II), Ni(II), Co(II), Cu(II), Fe(III) и Zn(II) 1,2,3-бензотриазолом в системах на основе анионных ПАВ. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 7. С. 38–44**For citation:**Zabolotnykh S.A., Lesnov A.E., Denisova S.A., Gilyova K.O. Extraction of Pd(II), Ni(II), Co(II), Cu(II), Fe(III) and Zn(II) ions with 1,2,3-benzotriazole in systems based on anionic surfactants. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 7. P. 38–44

EXTRACTION OF Pd(II), Ni(II), Co(II), Cu(II), Fe(III) AND Zn(II) IONS WITH 1,2,3-BENZOTRIAZOLE IN SYSTEMS BASED ON ANIONIC SURFACTANTS

S.A. Zabolotnykh, A.E. Lesnov, S.A. Denisova, K.O. Gilyova

Svetlana A. Zabolotnykh *, Ksenia O. Gilyova

Laboratory of Organic Complexing Reagents, Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the RAS, Akademika Koroleva st., 3, Perm, 614013, Russia
E-mail: zabolotsveta@mail.ru *, ksenimanilova@mail.ru

Andrey E. Lesnov

Laboratory of Organic Complexing Reagents, Institute of Technical Chemistry, Ural Branch of the RAS, Akademika Koroleva st., 3, Perm, 614013, Russia
Department of Ecology, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Petropavlovskaya st, 23, Perm, 614990, Russia
E-mail: lesnov_ae@mail.ru.

Svetlana A. Denisova

Department of Analytical Chemistry and Expertise, Perm State National Research University, Bukireva st., 15, Perm, 614990, Russia
E-mail: sw.denisova@yandex.ru

The phase state and extraction capacities of aqueous systems based on sulfonol, sodium dodecylsulfate or alkylbenzenesulfonic acid as anionic surfactants and hydrochloric (or sulfuric) acid against the influence of 1,2,3-benzotriazole as an organic complexing reagent were studied. Introduction of 1,2,3-benzotriazole into the systems resulted in its exfoliation in two liquid phases. Optimal concentration parameters of the extraction process in the systems under investigation were found: the total volume of the system (10 ml) contained sulfonol or sodium dodecyl sulfate (0.6 g), alkylbenzenesulphonic acid (0.5 g), and 1,2,3-benzotriazole (0.35 g). The aliquation state was maintained in the following concentration interval of HCl (H₂SO₄), mol L⁻¹, for the systems with: (a) sodium dodecylsulfate: 0.5-6 (0.5-4), (b) sulfonol: 0.1-4 (0.05-3), (c) alkylbenzenesulfonic acid: 0-4 (0-3). Distribution of 0.01 mol L⁻¹ of Pd(II), Ni(II), Cu(II), Co(II), Zn(II) and Fe(III) ions in the above systems was studied at the optimal components ratios. In the systems containing sodium dodecylsulfate, no quantitative extraction of metal ions was observed. In the systems with sulfonol and alkylbenzenesulfonic acid, practically complete (99.9%) extraction of palladium appeared to be possible in the entire range of acid concentrations; with minimal acid content, over 95% of copper and nickel were extracted. The extraction of palladium ions in the presence of interfering ions was studied. Quantitative recovery of palladium ions was found to not be obstructed by 500-fold molar excess of copper, 300-fold excess of cobalt and 70-fold excess of nickel.

Key words: extraction, aqueous stratifying systems, benzotriazole, sulfonol, sodium dodecylsulfate, alkylbenzenesulfonic acid, palladium

ВВЕДЕНИЕ

Анионные поверхностно-активные вещества (АПВ) находят различное применение в практике аналитической химии, например, в процессах разделения и концентрирования [1, 2]. При изменении температуры, pH, введении органических реагентов со слабыми основными свойствами, катионного ПАВ или растворов неорганических солей в водных растворах АПВ наблюдается образование второй жидкой фазы [3-7]. Такие системы могут служить приемлемой альтернативой

традиционным экстракционным системам и, помимо исключения из процесса токсичных органических растворителей, имеют другие неоспоримые достоинства – доступность и невысокую стоимость компонентов. АПВ способны не только выступать в роли фазообразователя, но и входить в состав экстрагируемых комплексов. Для расширения экстракционных возможностей подобных систем используют введение дополнительных комплексообразователей, например, органических реагентов, красителей. В качестве компонентов водных расслаивающихся систем исследованы различные анионные ПАВ: бис(алкилполиоксиэтилен)фосфат

калия (оксифос Б) [8, 9], алкилсульфаты и алкилсульфонаты натрия [10, 11], в том числе додецилсульфат натрия (SDS) [12, 13].

Ранее нами установлено наличие области двухфазного жидкого равновесия в системах на основе сульфонола [14], SDS [15], алкилбензолсульфокислоты (АБСК) [16] и неорганических кислот (серной и хлороводородной). Однако четкая граница раздела фаз в данных системах наблюдалась при концентрациях кислот выше 4,0 моль/л. При меньшем содержании кислот из-за близости значений плотностей фаз расслаивание протекало крайне медленно даже при нагревании смесей, и системы представляли собой стабильную белую эмульсию. Изучение распределения ионов металлов показало, что данные системы обладают слабой экстракционной способностью. Введение в них дополнительных органических комплексообразователей (антипирина, диантипирилметана или его гомологов) существенно расширяет интервал кислотности и увеличивает степень извлечения ионов металлов [17].

Ионы Co(II), Cu(II), Ni(II) по классификации Пирсона относятся к «мягким», поэтому их экстракция производными пиразолона («жесткими» лигандами) из сернокислых растворов практически не наблюдалась, а извлечение из солянокислых растворов в виде хлоридных ацидокомплексов незначительное. В связи с этим предлагается использование относящегося к «мягким» лигандам реагента – 1,2,3-бензотриазола (БТА), проявляющего основные свойства, $pK_a(1) = 8,2$ (25 °С, вода) [18]. БТА применяют для гравиметрического определения Ag(I), Cu(II), Zn(II), Os(VIII), Cd и Ni и титриметрического определения Ag(I) [19]. Палладий (II) реагирует с БТА в широком интервале кислотности: в уксуснокислой среде (рН 2-5,3) и солянокислых растворах [20].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе использовали сульфонол – натрий алкилбензолсульфонаты на основе керосина общей формулы $C_nH_{2n+1}C_6H_4SO_3Na$, где $n = 12-18$ (ТУ 2481-135-07510508-2007); додецилсульфат натрия $C_{12}H_{25}OSO_3Na$, «ч.д.а.»; алкилбензолсульфокислоту общей формулы $C_nH_{2n+1}C_6H_4SO_3H$, где $n = 10-14$ (ТУ 2481-026-05766480-2006, марка А); 1,2,3-бензотриазол, «ч.»; H_2SO_4 и HCl, «х.ч.»; хлориды Pd(II), Fe(III), сульфаты Ni(II), Co(II), Cu(II), Zn(II) квалификации «х.ч.» или «ч.д.а.».

Для установления влияния БТА на фазовое состояние систем, в смеси при постоянном содержании ПАВ (0,6 г сульфонола или SDS или 0,5 г

АБСК, $V_{общ} = 10$ мл) вводили различные количества БТА и определяли интервал концентраций кислоты, в котором наблюдалось расслаивание. Изменение фазового состояния фиксировали визуально. По результатам исследований выбрано оптимальное количество БТА, позволяющее получить расслаивающиеся системы с соотношением двух жидких фаз, наиболее подходящим для экстракции.

Для изучения распределения индивидуальных ионов металлов в градуированные пробирки с притертыми пробками вводили 1 мл 0,1 моль/л раствора соответствующей соли металла, 0,35 г БТА, 0,6 г сульфонола или SDS, или 0,5 г АБСК, рассчитанное количество раствора кислоты, доводили объем системы до 10 мл дистиллированной водой и перемешивали. После расслаивания фазы разделяли и определяли остаточное содержание ионов металлов в рафинате на атомно-абсорбционном спектрометре iCE 3500 с пламенной атомизацией.

Исследование совместной экстракции палладия (II) с другими ионами металлов проводили, вводя в градуированные пробирки с притертыми пробками 1 мл $4 \cdot 10^{-4}$ моль/л раствора палладия, различные количества раствора соли металла, 0,35 г БТА, 0,5 г АБСК, рассчитанное количество HCl для создания кислотности 1,5 моль/л в общем объеме системы 10 мл, доводили объем дистиллированной водой и перемешивали. После расслаивания фазы разделяли и определяли остаточное содержание ионов металлов в рафинате методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Введение БТА в системы приводит к появлению области двухфазного жидкого равновесия с четкой границей расслаивания при концентрации кислот меньше 4,0 моль/л. По результатам исследований выбраны оптимальные соотношения компонентов для изучения экстракционных возможностей систем, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Условия проведения экстракции ($m_{БТА} = 0,35$ г, $V_{общ} = 10,0$ мл)
Table 1. Conditions of extraction process ($m_{БТА} = 0.35$ g, $V_{com} = 10.0$ ml)

Система	$m_{ПАВ}$, г	$C_{кислоты}$, моль/л	$V_{фазы\ ПАВ}$, мл
H ₂ O – SDS – HCl	0,6	0,5-6,0	2,0-2,5
H ₂ O – SDS – H ₂ SO ₄	0,6	0,5-4,0	2,0-2,5
H ₂ O – сульфонол – HCl	0,6	0,1-4,0	1,0-1,2
H ₂ O – сульфонол – H ₂ SO ₄	0,6	0,05-3,0	1,0-1,2
H ₂ O – АБСК – HCl	0,5	0,0-4,0	1,0-1,2
H ₂ O – АБСК – H ₂ SO ₄	0,5	0,0-3,0	1,0-1,2

Во всех системах фаза ПАВ мутная, вязкая, в отсутствие ионов металлов окрашена в светло-коричневый цвет; водная фаза прозрачная, бесцветная; между фазами наблюдается четкая граница раздела. До содержания кислоты 3,0 моль/л HCl и 1,5 моль/л H₂SO₄ в системах фаза ПАВ находится внизу. С увеличением концентрации кислоты наблюдается инверсия фаз. Смеси расслаиваются при комнатной температуре. В системах с АБСК при концентрации кислоты более 2,0 моль/л HCl или 1,0 моль/л H₂SO₄ требовалось кратковременное (15 мин) нагревание до 75 °С.

Экстракционные возможности систем в присутствии БТА изучены на примере распределения ионов Ni(II), Cu(II), Co(II), Zn(II), Pd(II) и Fe(III). При экстракции ионов меди органическая фаза приобретает сине-зеленую окраску, которая бледнеет при увеличении концентрации кислоты. Исходный раствор палладия приготовлен на 6 моль/л HCl, поэтому интервал кислотности при изучении его извлечения начинался с 0,6 моль/л.

Условий количественной экстракции (> 95%) в системах вода – SDS – кислота обнаружить не удалось. Максимальная степень извлечения ионов (R_{max}, %) Cu(II), Co(II), Ni(II) и Fe(III) наблюдалась при минимальном содержании кислоты и составила соответственно: из солянокислых растворов – 91, 53, 52, 41; из сернокислых растворов – 87, 62, 49, 35. Извлечение ионов палладия не превышало 50%.

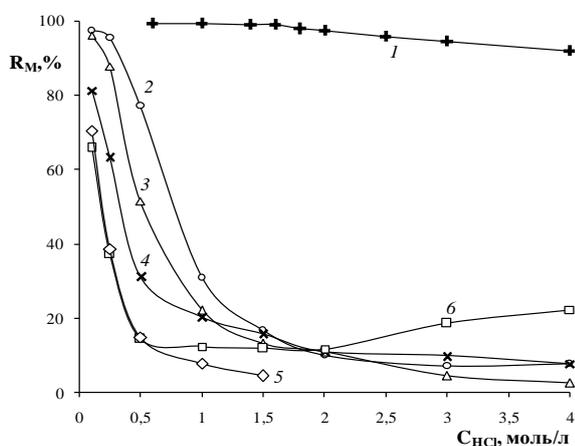


Рис. 1. Распределение комплексов ионов металлов с БТА в системе вода – сульфолон – HCl ($C_M = 0,01$ моль/л, $m_{BTA} = 0,35$ г, $V_{общ} = 10,0$ мл): 1 – Pd(II), 2 – Cu(II), 3 – Ni(II), 4 – Co(II), 5 – Zn(II), 6 – Fe(III)

Fig. 1. Distribution of metal ions complexes with BTA in the water – sulfonol – HCl system ($C_M = 0.01$ mol l⁻¹, $m_{BTA} = 0.35$ g, $V_{com} = 10.0$ ml): 1 – Pd(II), 2 – Cu(II), 3 – Ni(II), 4 – Co(II), 5 – Zn(II), 6 – Fe(III)

При замене SDS на сульфолон эффективность экстракции комплексов ионов металлов с БТА существенно возрастает. Как видно из рис. 1,

из солянокислых растворов в интервале концентраций 0,1-1,5 моль/л палладий извлекается на 99%. Количественное извлечение меди (II) наблюдается до концентрации кислоты 0,3 моль/л. Максимальное извлечение никеля, кобальта (II), цинка и железа (III) составило соответственно 98, 81, 70 и 65%. Увеличение концентрации кислоты приводит к разрушению комплексов металлов с БТА, в связи с протонированием реагента, и резкому падению их степени извлечения.

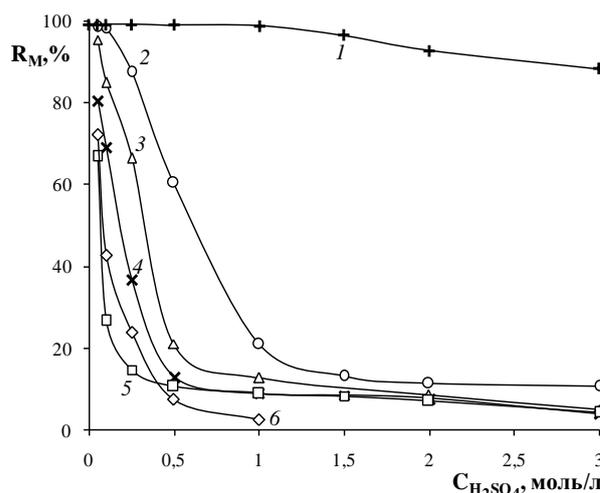


Рис. 2. Распределение комплексов ионов металлов с БТА в системе вода – сульфолон – H₂SO₄ ($C_M = 0,01$ моль/л, $m_{BTA} = 0,35$ г, $V_{общ} = 10,0$ мл): 1 – Pd(II), 2 – Cu(II), 3 – Ni(II), 4 – Co(II), 5 – Fe(III), 6 – Zn(II)

Fig. 2. Distribution of metal ions complexes with BTA in the water – sulfonol – H₂SO₄ system ($C_M = 0.01$ mol l⁻¹, $m_{BTA} = 0.35$ g, $V_{com} = 10.0$ ml): 1 – Pd(II), 2 – Cu(II), 3 – Ni(II), 4 – Co(II), 5 – Fe(III), 6 – Zn(II)

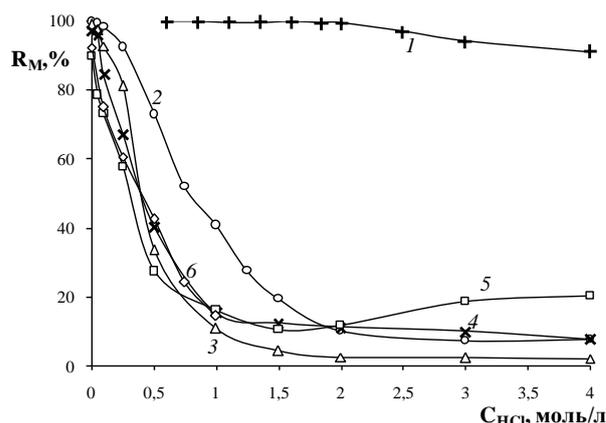


Рис. 3. Распределение комплексов ионов металлов с БТА в системе вода – АБСК – HCl ($C_M = 0,01$ моль/л, $m_{BTA} = 0,35$ г, $V_{общ} = 10,0$ мл): 1 – Pd(II), 2 – Cu(II), 3 – Ni(II), 4 – Co(II), 5 – Fe(III), 6 – Zn(II)

Fig. 3. Distribution of metal ions complexes with BTA in the water – ABSA – HCl system ($C_M = 0.01$ mol l⁻¹, $m_{BTA} = 0.35$ g, $V_{com} = 10.0$ ml): 1 – Pd(II), 2 – Cu(II), 3 – Ni(II), 4 – Co(II), 5 – Fe(III), 6 – Zn(II)

В системе вода – сульфенол – H₂SO₄ палладий практически полностью извлекается в интервале кислотности 0,05-1,0 моль/л. При концентрации H₂SO₄ 0,05-0,15 моль/л наблюдается количественная экстракция ионов меди (II). Характер кривых извлечения других ионов металлов при замене кислоты не меняется.

В системе вода – БТА – АБСК расслаивание возможно в отсутствие минеральных кислот. Количественное извлечение меди (II) наблюдается в интервале концентраций HCl от 0,0 до 0,25 моль/л. Кобальт, никель и цинк экстрагируются количественно до содержания кислоты 0,1 моль/л. Извлечение палладия выше 99% сохраняется до концентрации кислоты 2,0 моль/л (рис. 3).

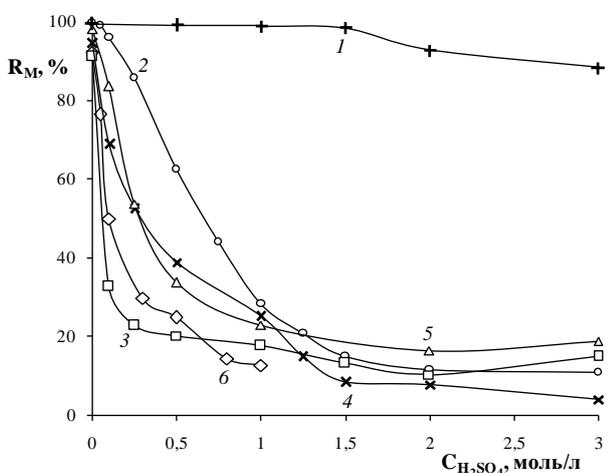


Рис. 4. Распределение комплексов ионов металлов с БТА в системе вода – АБСК – H₂SO₄ (C_M = 0,01 моль/л, m_{БТА} = 0,35 г, V_{общ} = 10,0 мл): 1 – Pd(II), 2 – Cu(II), 3 – Fe(III), 4 – Co(II), 5 – Ni(II), 6 – Zn(II)

Fig. 4. Distribution of metal ions complexes with BTA in the water – ABSA – H₂SO₄ system (C_M = 0.01 mol l⁻¹, m_{BTA} = 0.35 g, V_{com} = 10.0 ml): 1 – Pd(II), 2 – Cu(II), 3 – Fe(III), 4 – Co(II), 5 – Ni(II), 6 – Zn(II)

При замене хлороводородной кислоты на серную характер кривых извлечения ионов металлов практически не меняется (рис. 4). Наибольший интерес представляет экстракция ионов палладия, количественно извлекающегося в присутствии БТА. Лучшие результаты получены для системы вода – АБСК – HCl, поэтому в ней изучена экстракция палладия в присутствии ионов меди (II), никеля, кобальта и железа (III). Для исследования совместной экстракции выбрана концентрация HCl 1,5 моль/л. Это связано с тем, что при данном содержании кис-

лоты в смеси извлечение Pd(II) количественное, в то время как извлечение остальных изученных ионов незначительное.

Изучение экстракции ионов палладия с БТА в присутствии ионов Ni(II), Cu(II), Co(II) и Fe(III) показало, что количественному извлечению ионов палладия из растворов не мешают 500-кратный мольный избыток меди, 300-кратный – кобальта, 70-кратный – никеля. В присутствии более 2-кратного мольного избытка ионов железа (III) степень извлечения ионов палладия падает до 93% (табл. 2).

Таблица 2

Совместная экстракция Pd(II) и Cu(II), Fe(III), Ni(II), Co(II) БТА в системе вода – АБСК – HCl (m_{БТА} = 0,35 г, m_{АБСК} = 0,5 г, C_{HCl} = 1,5 моль/л, V_{общ} = 10,0 мл)

Table 2. Coextraction of Pd(II) and Cu(II), Fe(III), Ni(II), Co(II) with BTA in the water – ABSA – HCl system (m_{BTA} = 0.35 g, m_{ABSA} = 0.5 g, C_{HCl} = 1.5 mol l⁻¹, V_{com} = 10.0 ml)

M ⁿ⁺ /Pd ²⁺ *	R _{Pd} , %	R _M , %	M ⁿ⁺ /Pd ²⁺	R _{Pd} , %	R _M , %
Cu ²⁺			Fe ³⁺		
500	94,83	0,35	1310	91,56	4,91
100	95,53	6,59	262	93,74	1,73
50	95,43	5,23	131	93,56	1,27
10	95,89	2,52	26	93,40	1,03
5	94,27	1,13	13	93,28	6,44
1	94,43	5,48	2	93,11	0,68
Ni ²⁺			Co ²⁺		
350	89,76	16,83	300	94,86	1,87
70	97,33	5,34	60	95,27	3,28
35	97,96	2,99	30	95,33	5,44
10	99,29	1,39	6	95,04	2,08
5	99,07	5,69	3	95,11	1,38
1	99,16	3,29	1	94,84	3,59

* Mⁿ⁺/Pd²⁺ – мольный избыток мешающего иона по отношению к ионам палладия

* Mⁿ⁺/Pd²⁺ – molar excess of interfering ion with respect to palladium ions

ВЫВОДЫ

Согласно полученным результатам можно утверждать, что водные расслаивающиеся системы, содержащие анионные ПАВ сульфенол или алкилбензолсульфокислоту могут быть использованы для количественного извлечения палладия (II) и меди (II) в виде их комплексов с бензотриазолом, а также для отделения ионов Pd(II) от других металлов. При этом из процесса экстракции исключаются пожароопасные, токсичные и легколетучие органические растворители.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штыков С.Н. Поверхностно-активные вещества в анализе. Основные достижения и тенденции развития. Журн. аналит. химии. 2000. Т. 55. № 7. С. 679–686.

REFERENCES

1. Shtykov S.N. Surfactants in analysis: progress and development trends. J. Analyt. Chem. 2000. V. 55. N 7. P. 608–614.

2. **Paleologos E.K.** Surfactant-mediated extraction techniques. The application of green solvents in separation processes. Elsevier 2017. P. 349–375.
3. **Ojeda C.B., Rojas F.S.** Separation and preconcentration by cloud point extraction procedures for determination of ions: recent trends and applications. *Microchimica Acta*. 2012. V. 177. N 1–2. P. 1–21. DOI: 10.1007/s00604-011-0717-x.
4. **Dai C., Liu Y., Wang Sh., Du M., Peng D., Wang K., Yang Zh., Zhao M.** Investigation on the phase behaviors of aqueous surfactant two-phase systems in a mixture of N-dodecyl-N-methylpiperidinium bromide (C12MDB) and sodium dodecyl sulfate (SDS). *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2015. V 468. P. 322–326. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.12.061.
5. **Леснов А.Е., Денисова С.А.** Гель-экстракция поверхностно-активными веществами. *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2014. Вып. 1 (13). С. 79–93.
6. **Заболотных С.А., Желнина В.О., Денисова С.А., Елохов А.М., Леснов А.Е.** Использование расслаивающейся системы вода – антипирин – алкилбензолсульфонокислота для экстракции ионов металлов. *J. Siberian Federal University. Chemistry*. 2017. Т. 10. № 4. С. 536–544. DOI: 10.17516/1998-2836-0047.
7. **Старова В.С., Куличенко С.А.** Кислотно-индуцированные мицеллярные фазы додецилсульфата натрия для концентрирования органических субстратов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2009. Т. 52. Вып. 11. С. 74–78.
8. **Леснов А.Е., Денисова С.А., Чухланцева Е.Ю., Заболотных С.А., Останина Н.Н.** Гель-экстракция тиоцианатных комплексов металлов в расслаивающихся системах «вода – катамин АБ – хлорид калия» и «вода – оксифос Б – сульфат аммония». *Хим. в инт. уст. разв.* 2015. Т. 23. № 4. С. 361–366.
9. **Денисова С.А., Останина Н.Н., Леснов А.Е., Кудряшова О.С.** Экстракция тиоцианатных комплексов металлов в расслаивающейся системе вода – калий бис(алкилполиоксиэтилен)фосфат – сульфат аммония. *Журн. неорг. химии*. 2015. Т. 60. № 8. С. 1124–1128. DOI: 10.7868/S0044457X15080061.
10. **Леснов А.Е., Кудряшова О.С., Денисова С.А.** Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – алкилсульфаты или алкилсульфонаты – неорганический высаливатель. *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2011. Вып. 1 (1). С. 71–75.
11. **Горячева И.Ю., Логинов А.С., Лаврова Т.Н., Попов М.А.** Экстракционное концентрирование анионными поверхностно-активными веществами в кислой среде. *Журн. аналит. химии*. 2007. Т. 62. № 5. С. 459–464. DOI: 10.1134/S1061934807050036.
12. **Nakai T., Murakami Y., Sasaki Y., Tagashira S.** The ion-pair formation between dodecylsulfate and ammine-complexes of copper(II), nickel(II), zinc(II), palladium(II) and platinum(II), and the extraction behavior of the ammine-complexes by using sodium dodecylsulfate. *Talanta*. 2005. V. 66. N 1. P. 45–50. DOI: 10.1016/j.talanta.2004.09.023.
13. **Tagashira S., Ichimaru T., Nozaki K., Murakami Y.** Surfactant gel extraction of metal ammine complexes using sds and kcl at room temperature, and a small-angle X-ray diffraction study of the surfactant phase. *Solv. Extract. Res. Develop. Japan*. 2013. V. 20. P. 39–52. DOI: 10.15261/serdj.20.39.
14. **Заболотных С.А., Денисова С.А.** Изучение водных расслаивающихся систем на основе сульфонола. *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2014. Вып. 1 (13). С. 50–57.
2. **Paleologos E.K.** Surfactant-mediated extraction techniques. The application of green solvents in separation processes. Elsevier 2017. P. 349–375.
3. **Ojeda C.B., Rojas F.S.** Separation and preconcentration by cloud point extraction procedures for determination of ions: recent trends and applications. *Microchimica Acta*. 2012. V. 177. N 1–2. P. 1–21. DOI: 10.1007/s00604-011-0717-x.
4. **Dai C., Liu Y., Wang Sh., Du M., Peng D., Wang K., Yang Zh., Zhao M.** Investigation on the phase behaviors of aqueous surfactant two-phase systems in a mixture of N-dodecyl-N-methylpiperidinium bromide (C12MDB) and sodium dodecyl sulfate (SDS). *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2015. V 468. P. 322–326. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.12.061.
5. **Lesnov A.E., Denisova S.A.** Surfactant gel extraction. *Vestn. Perm. Un-ta. Ser. Khimiya*. 2014. N 1 (13). P. 79–93 (in Russian).
6. **Zabolotnykh S.A., Zhelnina V.O., Denisova S.A., Elokho A.M., Lesnov A.E.** The water – antipyrine – alkyl benzene sulfonic acid stratifying system to extract metal ions. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*. 2017. V. 10. N 4. P. 536–544. DOI: 10.17516/1998-2836-0047.
7. **Starova V.S., Kulichenko S.A.** Acid-induced micellar phases of sodium dodecyl sulfate for concentrating organic substrates. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2009. V. 52. N 11. P. 74–78 (in Russian).
8. **Lesnov A.E., Denisova S.A., Chuhlanceva E.Ju., Zabolotnyh S.A., Ostanina N.N.** Gel Extraction of thiocyanate complexes of metals in layering systems «water – catamine ab – potassium chloride» and «water – oxyphos b – ammonium sulphate». *Khim. Inter. Ust. Razvit.* 2015. V. 23. N 4. P. 361–366 (in Russian).
9. **Denisova S.A., Kudryashova O.S., Lesnov A.E., Ostanina N.N.** Extraction of metal thiocyanate complexes in a water-potassium bis(alkylpolyoxyethylene) phosphate-ammonium sulfate segregating system. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2015. V. 60. N 8. P. 1022–1026. DOI: 10.1134/S0036023615080069.
10. **Lesnov A.E., Kudryashova O.S., Denisova S.A.** Phase and extraction equilibrium in the systems of water – alkyl sulphates or alkyl sulphonates – inorganic salting-out component. *Vestn. Perm. Un-ta. Ser. Khimiya*. 2011. N 1 (1). P. 71–75. (in Russian).
11. **Goryacheva I.Yu., Loginov A.S., Lavrova T.N., Popov M.A.** Extraction preconcentration with anionic surfactants in acidic solutions *J. Analyt. Chem.* 2007. V. 62. N 5. P. 411–415. DOI: 10.1134/S1061934807050036.
12. **Nakai T., Murakami Y., Sasaki Y., Tagashira S.** The ion-pair formation between dodecylsulfate and ammine-complexes of copper(II), nickel(II), zinc(II), palladium(II) and platinum(II), and the extraction behavior of the ammine-complexes by using sodium dodecylsulfate. *Talanta*. 2005. V. 66. N 1. P. 45–50. DOI: 10.1016/j.talanta.2004.09.023.
13. **Tagashira S., Ichimaru T., Nozaki K., Murakami Y.** Surfactant gel extraction of metal ammine complexes using sds and kcl at room temperature, and a small-angle X-ray diffraction study of the surfactant phase. *Solv. Extract. Res. Develop. Japan*. 2013. V. 20. P. 39–52. DOI: 10.15261/serdj.20.39.
14. **Zabolotnykh S.A., Denisova S.A.** Study of water stratifying systems based on sulphonol. *Vestn. Perm. Un-ta. Ser. Khimiya*. 2014. N 1 (13). P. 50–57 (in Russian).

15. **Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А.** Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – сульфенол – HCl (H₂SO₄) и вода – додецилсульфат натрия – HCl (H₂SO₄). *Журн. физ. химии*. 2016. Т. 90. № 10. С. 1458–1464. DOI: 10.7868/S0044453716100319.
16. **Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А.** Гель-экстракция ионов металлов диантипирилалка-нами в водных расслаивающихся системах на основе алкилбензолсульфокислоты. *Вода. Химия и экология*. 2017. № 1. С. 73–79.
17. **Заболотных С.А., Денисова С.А.** Экстракция ионов металлов диантипирилалканами в системах вода – сульфенол (или додецилсульфат натрия) – неорганическая кислота. *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2016. Вып. 1 (21). С. 7–15.
18. Химия и токсикология: [сайт]. URL: <http://chemister.ru/Database/properties.php?dbid=1&id=5918>. Дата обращения 28.04.2018.
19. **Лурье Ю.Ю.** Справочник по аналитической химии. М.: Химия. 1979. 480с.
20. **Гинзбург С.И., Езерская Н.А., Прокофьева И.В., Федоренко Н.В., Шленская В.И., Бельский Н.К.** Аналитическая химия платиновых металлов. М.: Наука. 1972. 616 с.
15. **Zabolotnykh S.A., Lesnov A.E., Denisova S.A.** Phase and extraction equilibria in H₂O – sulfenol – HCl (H₂SO₄) and H₂O – sodium dodecyl sulfate – HCl (H₂SO₄) systems. *Russ. J. Phys. Chem. A*. 2016. V. 90. N 10. P. 1942–1947. DOI: 10.7868/S0044453716100319.
16. **Zabolotnykh S.A., Lesnov A.E., Denisova S.A.** Gel extraction of metal ions using diantipyrylium alkanes in stratified water systems based on alkyl benzene sulfonic acid. *Voda: Khim. Ekolog.* 2017. N 1. P. 73–79 (in Russian).
17. **Zabolotnykh S.A., Denisova S.A.** Extraction of metal ions with diantipyrylalkanes from water – sulphonol (or sodium dodecylsulphate) – inorganic acid systems. *Vestn. Perm. Unta. Ser. Khimiya*. 2016. N 1(21). P. 7–15 (in Russian).
18. Chemistry and Toxicology: [site]. URL: <http://chemister.ru/Database/properties.php?dbid=1&id=5918>. Date of circulation 04.28.2018.
19. **Lur'ye Yu.Yu.** Handbook on analytical chemistry. M.: Khimiya. 1979. 480 p. (in Russian).
20. **Ginzburg S.I., Yezerkaya N.A., Prokof'yeva I.V., Fedorenko N.V., Shlenskaya V.I., Belskiy N.K.** Analytical chemistry of platinum metals. M.: Nauka. 1972. 616 p. (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 18.06.2018

Принята к опубликованию (Accepted) 05.04.2019